

PAT-NO: JP406201934A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06201934 A
TITLE: OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE
PUBN-DATE: July 22, 1994

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

HALBOUT, JEAN-MARC
IYER, SUBRAMANIAN SRIKANTESWARA
KESAN, VIJAY PANCHAPA
TREYZ, GEORGE VICTOR

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

INTERNATL BUSINESS MACH CORP <IBM>

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP05240112

APPL-DATE: September 27, 1993

INT-CL (IPC): G02B006/12

US-CL-CURRENT: 385/14

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a low-loss semiconductor waveguide, transmitting radiant energy and incorporated with a silicon-germanium alloy.

CONSTITUTION: This optical waveguides 10 and 40 consists of semiconductor substrates 12 and 42, a silicon layer 18 formed thereon, a layer 22 of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ or $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$, further formed thereon to transmit optical radiation and the layers 26 and 30 of other

materials formed on the layer 22, defining a waveguide 24 under a thick strip region 28, patterned to provide a capping layer 30 in the other regions and made of silicons having a different refractive index or other materials. Consequently, according to this constitution, the damping problem due to the normally used side wall surface and interface is solved, because the lateral size of the waveguide is defined.

COPYRIGHT: (C)1994, JPO

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-201934

(43)公開日 平成6年(1994)7月22日

(51)Int.Cl.⁵
G 0 2 B 6/12

識別記号 庁内整理番号
N 8106-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数1 (全4頁)

(21)出願番号 特願平5-240112

(22)出願日 平成5年(1993)9月27日

(31)優先権主張番号 967590

(32)優先日 1992年10月28日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS
MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)

(72)発明者 ジーン・マーク・ハルバウト

アメリカ合衆国10538、ニューヨーク州ラ
ーチモント、エコー・レーン 53

(74)代理人 弁理士 合田 潔 (外3名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光導波管装置

(57)【要約】

【目的】 放射エネルギーを伝達する、シリコン-ゲルマニウム合金を組込んだ低損失半導体導波管を提供する。

【構成】 光導波管10、40は、半導体基板12、42、その上に形成されたシリコン層18、光放射を伝達するために、更にその上に形成された $Si_{1-x}Ge_x$ 或いは $Si_{1-x-y}Ge_xCy$ の層22、及び上記放射伝達用の層22上に形成され、厚いストリップ領域28下に導波管24を定義し、その他の領域はキャッピング層30を提供するようにパターン化される、異なる屈折率を有するシリコン或いは他の材料の層26、30とにより構成される。

【効果】 本発明は、導波管の横寸法を定義するために、通常使用される側壁表面及び界面による減衰問題を克服する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】光放射を伝達する導波管装置であって、基板と、上記基板上に形成されたシリコンによる第1の層と、上記第1の層上に形成された、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 及び $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ より成るグループから選択された材料による第2の層と、導波管が要求される領域では第1の厚みを有し、導波管が不要な領域では第2の厚みを有する、上記第2の層上に形成された第3の層と、を含む導波管装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は光導波管(optical wave guide)に関し、特に、例えば $1.3\mu\text{m}$ の放射エネルギーを伝達する、シリコン-ゲルマニウム合金を組込んだ低損失半導体導波管に関する。

【0002】

【従来の技術】低損失光導波管は、集積光学システムの基本コンポーネントである。半導体基板上の導波管は、アクティブ・デバイスと一緒に直接モノリシック集積化でき、また材料の光屈折率に与えるキャリア分布の影響により、光の振幅或いは位相を変調するという魅力的な可能性を持っている。表面及び材料間の界面、或いは材料と空気などの気体との間の界面は、こうしたデバイスにおける主な損失源である。エピタキシャル方法は優れた品質の界面を提供する傾向にあるが(原子レベルにおいても)、反応性イオン・エッチング(RIE)、ウェット・エッチングなどのサブトラクティブ方法は、通常、許しがたい程の散乱を示す表面を生成する。これは特に長い距離に渡り集積化する場合に著しい。しかしながら、これらの表面及び界面は、導波管、特に導波管の横寸法を定義するために必要である。従って、最適な導波管構造はこうした表面及び界面から放射エネルギー、光、放射或いは光モードを分離または孤立化し、それにより光損失または減衰を最小化し、導波管の形成における製造許容差を拡大することである。任意の界面における散乱損失は $(\Delta n)^2$ に比例し、ここで Δn は表面或いは界面を形成する材料の光屈折率の差を表す。従って、導波管による伝達時に、光或いは光モードが出会う表面或いは界面における屈折率の差を制限することが望ましい。

【0003】屈折率の差を有する多層光導波管の例が、H. G. Unger らによる米国特許第4606602号"SELECTIVELY DISPERSIVE OPTICAL WAVEGUIDE FILMS"(1986年8月19日出願)に記載されている。この特許では、基板上の所定幅を有するフィルム、及びこのフィルム上に配置される比較的薄い光学的に効果的なコーティングが、伝導する光波に対して提供される。光学的コーティングは、フィルムより狭い幅を有し、フィルムの中央領

域に配置される。屈折率は基板からフィルムへ、更にフィルムからコーティングの順で増加する。硝子或いは透明プラスチックなどの材料が基板、フィルム及びコーティングを形成するために使用される。

【0004】S. Valetteによる米国特許第4929302号(1990年5月29日出願)は、各々が異なる屈折率を有する3つの SiO_2 絶縁層を使用する、光マイクロガイドの生産方法について述べている。

【0005】J. P. Lorenzoらによる米国特許第4789642号(1988年12月6日出願)は、 $1.3\mu\text{m}$ 乃至 $1.6\mu\text{m}$ の範囲で使用される低損失単一モード・チャネル導波管について述べており、ここでは基板表面下に絶縁層を形成するために、イオン注入される添加シリコン基板を使用する。この基板は次に、既に形成された絶縁層上に、結晶質シリコンの露光光導波管リブを提供するためにエッチングされる。特定の設計要求により、光学層の厚みを伸長するためにエピタキシャル・シリコンを追加できる。非反応層が導波管リブ上に形成されて、導波管の製作が完了する。

【0006】R. A. Sorefによる"OPTICAL WAVEGUIDING IN AN EPITAXIAL LAYER OF SILICON-GERMANIUM GROWN ON SILICON"(SPIE Proceedings, No. 1177, pp. 175-184(1989))では、光導波管が未添加(100)シリコン・ウェハ上に $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ の合金層を化学蒸着によりエピタキシャル成長させて形成される。エピタキシャル層は $1\mu\text{m}$ 乃至 $10\mu\text{m}$ の範囲の厚みを有する。 GeSi 層内の応力は、 GeSi 層の厚みにより GeSi/Si 界面において幾分緩和される。 GeSi のエピタキシャル層は、層を写真印刷エッチングすることにより、光チャネル導波管に形造られる。この刊行物の図1は、 GeSi 層の約半分をエッチングすることにより、チャネルが形成される様子を示している。

【0007】従来技術は、様々な材料により形成された導波管における数多くの例を示すが、これらの材料は、光或いは光モードを含むべき導波管の長さ方向の側壁に沿って界面を形成することにより、チャネル導波管に形造られている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、光ビーム伝達層上に配置される、シリコン或いは他の材料によるパターン化された層により、導波管の位置、特に導波管の横寸法を定義することである。

【0009】本発明の他の目的は、光ビームの光損失或いは減衰を最小化するために、導波管の横寸法において、表面及び界面を除去することである。

【0010】本発明の他の目的は、導波管の横寸法を定義するのに、側壁面或いは界面を必要としない光導波管を提供することである。ここで光或いは光モードを伝達する層は、 $5\mu\text{m}$ 乃至 $200\mu\text{m}$ の範囲の幅を有する

【0011】本発明の他の目的は、許容しがたい散乱特

性を示す表面から、光導波管内の光モードを分離することである。

【0012】本発明の他の目的は、ストリップ・ロード式導波管構成を提供することである。ここでストリップは、導波管上に厚い領域を有するシリコン・キャップ層により製作され、光モードが材料の屈折率により、SiGe或いはSiGeC層内に封じ込められる。

【0013】本発明の他の目的は、SiGe-SiとSiGeC-Siの間の界面におけるエピタキシャル成長により、欠陥の無い界面を提供することである。欠陥の無い或いは低欠陥密度の界面は、光或いは光モードに対する実質的な損失或いは減衰を阻止する。

【0014】本発明の他の目的は、シリコン或いはSiGeなどの支持層に格子適合する応力のないSiGeCフィルムを提供することにより、欠陥密度を低減することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、光放射或いは光を伝達する導波管及び導波管の生成方法が述べられ、これは基板と、基板上のシリコンによる第1の層と、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ などの2元合金、或いは $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ などの3元合金の材料による上記第1のシリコン層上に配置される第2の層と、上記第2の層上に配置され、導波管の形成が要求される第1の領域が第1の厚みを有し、導波管が不要な第2の領域が第2の厚みを有する、シリコンなどの材料による第3の層から構成される。第2の層はひずみによる転位のない層であり、好ましくは、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金により構成される。ここでxは0.01乃至0.03の範囲である。選択される3元合金では、x或いは、x及びyは、シリコンの第1の層に格子整合した合金を提供するように選択される。

【0016】

【実施例】図を参照すると、図1は光放射を伝達する導波管装置10を示す。単結晶質シリコンである基板12は、その上に、シリコン酸化物などの絶縁体による層14を形成される。また、単結晶質シリコンの層16が、層14上に形成される。層16は上面17を有する。最初、層12、14及び16は、単結晶シリコン基板である。層14は、酸素注入分離(SIMOX: separation by implantation of oxygen)方法のような、上面17を通じての酸素のイオン注入により、或いはウエハ・ボンディングなどの他の絶縁体上シリコン(SOI: silicon-on-insulator)方法により形成される。従って、層16は基板12と同じ単結晶方向を有する。層16の上面17上には、100 (オングストローム)乃至5 μm の範囲の厚み(典型的には4 μm 厚)を有する、シリコンのエピタキシャル層18が形成される。シリコン層18は上面19を有する。この上面19上には、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ のエピタキシャル層22が存在し、ここでxはゲルマニウムのモル分率であり、0.01乃至0.09

の範囲である。好ましくは、0.01乃至0.03であり、特に好ましくは0.012乃至0.018である。層22はまた $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ であっても良い。カーボン C はSiGeC合金の格子定数を減少する傾向があり、応力のない層22を実現する。例えば、ゲルマニウムはシリコンの格子定数を増加する傾向があり、一方、カーボンは格子定数を減少する(第1位に)傾向がある。応力のない $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ フィルムを実現する場合、12%のゲルマニウムの添加は、およそ1%のカーボンの添加を必要とする。層22は1000乃至50 μm の範囲の厚みを有する。層22は光放射、光或いは光モード24を伝達するように機能する。層22は上面23を有する。

【0017】上面23上には、その厚みが3 μm 乃至5 μm の範囲のシリコンのエピタキシャル層26が形成される。シリコン層26は、例えば、写真印刷マスキング及びエッチングにより、ストリップ28を形成するようにパターン化される。ストリップ28は3 μm 乃至5 μm の範囲の厚みを有し、導波管の形成が要求される第1の領域29に形成される。層26はその厚みが100乃至400の範囲の第2の領域30を有し、この領域は、前述の第1の領域29によって覆われない領域の層22を覆い、層22内のSiGe或いはSiGeC合金を安定化する。パターン層26により形成されるストリップ28は、周知のマックスウェル方程式により表されるように、光モードをストリップ28の下方の領域に分離または孤立化するように機能する。ストリップ28は図1の矢印34で示される幅を有し、これは1.3ミクロンの波長を有する光放射に対応して、5.6 μm 乃至8.4 μm の範囲である。

【0018】図2は本発明の別の実施例を示す。図2において、図1の装置に対応する部分に対しては、同じ参照番号が使用される。図2は光導波管装置40を示す。基板42は、例えば単結晶質シリコンであり、上面43を有する。エピタキシャル・シリコン層18が、上面43上に形成される。導波管40内の他の層である層22及び26は、導波管10に対応して図1で述べたのと同じ機能をする。

【0019】図1及び図2において層26は、層26に選択される材料が層22と異なる屈折率を有する限り、 SiO_2 、Si、 $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ 、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を含むグループから選択できる。典型的材料の屈折率に関する典型的な値は、空気:1、 SiO_2 :3.9、Si:11.9、Ge:16、SiC:2.65-2.69であり、それらの合金は、寄与する材料の原子百分率に比例する屈折率を有する。

【0020】屈折率は、各材料の各原子百分率の総和に、その材料のそれぞれの屈折率を乗じた値に等しい。図1及び図2にそれぞれ示される導波管10及び40の光学的性能は、1.9 dB/cm以下の損失が期待さ

れ、従来技術に対して改良された減衰を実現する。導波管層の厚み及び幅は、光ファイバと導波管との間の最大結合効率を保证するように選択される。

【0021】これまでに、基板、当該基板上に形成される $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 或いは $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ による第1のエピタキシャル層、及び第1の層上に形成され、異なる屈折率を有する材料による第2のエピタキシャル層を含む、光放射を伝達する光導波管について説明してきた。第2の層は、例えば Si 、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 、 $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ 或いは SiO_2 であり、ストリップ・ロード式光導波管の形成が要求される第1の領域については、第1の厚みを有するようにパターン化される。第2の層は更に、光導波管が不要な第2の領域については、100乃至400の範囲の第2の厚みを有する。

【0022】更に、酸素注入分離(SIMOX)などのSOI基板の一部の層上に形成される光導波管について説明した。こうした場合には、層はその上面上に形成される単結晶質層である。

【0023】図1及び図2で示される光導波管10及び40は、集積光学システムに好適に使用され、半導体処理技術を使用して、集積回路上に容易に製作される。ス

トリップ・ロード式光導波管10及び40は、マイクロ波技術における周知のマイクロ・ストリップ導波管に類似する。これはグラウンド・プレーン上の絶縁層上に金属ストリップを有する。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、放射エネルギーを伝達するシリコン-ゲルマニウム合金を組込んだ低損失半導体導波管により、導波管の横寸法を定義するために通常使用される、側壁表面及び界面による減衰問題を克服することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

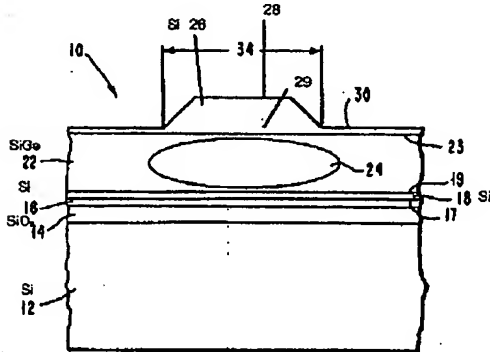
【図1】本発明の第1の実施例を示す図である。

【図2】本発明の別の実施例を示す図である。

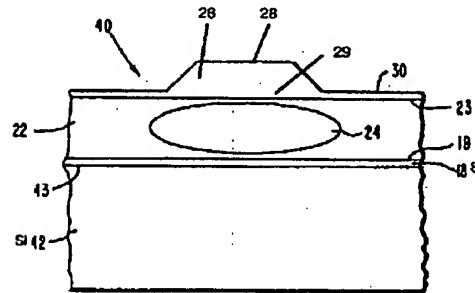
【符号の説明】

- 10、40 導波管
- 12、42 基板
- 18、22、26 エピタキシャル・シリコン層
- 24 光モード
- 28 ストリップ
- 29 第1の領域
- 30 第2の領域

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 サブラマニアン・スリカンテスワラ・ライ
ヤー
アメリカ合衆国10598、ニューヨーク州ヨ
ークタウン・ハイツ、シーダー・ロード
3172

(72)発明者 ビジェイ・パンチャバ・ケサン
アメリカ合衆国06877、コネチカット州リ
ッジフィールド、クインシー・クローズ
9

(72)発明者 ジョージ・ビクター・トレイズ
アメリカ合衆国10016、ニューヨーク州ニ
ューヨーク、イースト・サード・ストリート
138